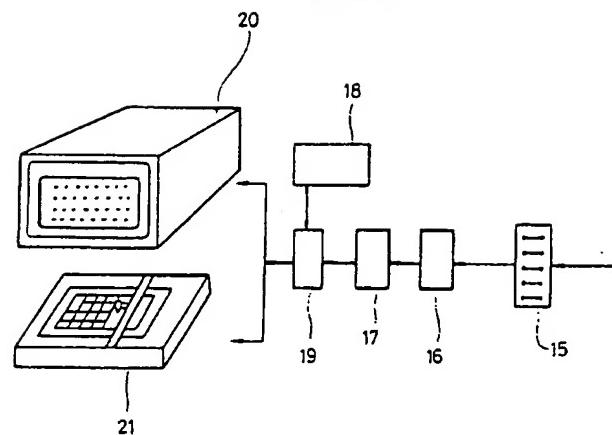


第4図



⑫ 公開特許公報 (A) 平3-194314

⑬ Int. Cl. 5

F 23 N 5/00
G 01 N 1/22

識別記号

J
F

府内整理番号

7815-3K
7808-2G

⑭ 公開 平成3年(1991)8月26日

審査請求 未請求 請求項の数 5 (全8頁)

⑮ 発明の名称 燃焼状態診断方法

⑯ 特 願 平1-332828

⑰ 出 願 平1(1989)12月25日

⑱ 発明者 伊丹 哲郎 広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立株式会社呉工場
内

⑲ 出願人 バブコック日立株式会社 東京都千代田区大手町2丁目6番2号

⑳ 代理人 弁理士 武 頸次郎

明 井田

1. 発明の名称

燃焼状態診断方法

2. 特許請求の範囲

(1) 排ガスの性状を検知分析し、この分析結果を用いて各バーナの状態を推定し、この推定結果に基づいてバーナの燃焼状態が適正か否かを判断する燃焼状態診断方法において、予め試験運転で得られている排ガスサンプリング結果と各バーナ状態との間の因果関係から構成されるファジー推論用の知識ベースに対し、排ガスサンプリング結果の知識の重複性及び完全性を判定することによって、試運転で排ガスサンプリングを再実施するか否かを判定することを特徴とする燃焼状態診断方法。

(2) 上記排ガスサンプリング結果を、総数で s 種ある排ガス種のうち種類 i のサンプリング結果をおれ線グラフ化し、かつ、その値が0と1との間の実数値をとるメンバーシップ関数として表現したもの第 i 成分とする多次元ベクトル関数とし

て表現することを特徴とする請求項(1) 記載の燃焼状態診断方法。

(3) 上記ファジー推論用の知識ベースに対する排ガスサンプリング結果の知識の重複性及び完全性判定において、上記メンバーシップ関数の定義域を、0から 2π の実数の連続閉区間として設定し、三角関数で与えられる規格直交完全固有関数系を変数を特定する精度を指定することにより有限個に限定し、上記メンバーシップ関数を上記三角関数で近似的に固有関数展開し、展開係数を成分とする有限次元ベクトルと同一視し、上記試運転で得られている排ガスサンプリング結果を複数個の上記有次元ベクトルで表現し、排ガスの種別毎にこれらのベクトルのうち1次独立なものの個数及びその最小値を表示し、又この最小値と有次元ベクトルの次元数との比を排ガスサンプリング結果の完全度として表示し、上記最小値が試運転回数に等しい場合には完全度が許容される値か否かを制御オペレータに質問し、その答えが肯定の場合にはサンプリング結果が外部記憶装置に収録され、

答えが否定の場合には試運転再実施の指示が出され、上記最小値が試運転回数より小さい場合には、独立の知識ベースの個数はこの最小値で十分かと質問が出され、答えが肯定の場合にはサンプリング結果から独立なサンプリング結果が上記メンバーシップ関数の線形結合を取ることにより構成され、外部記憶装置に収録され、答えが否定であると試運転再実施の指示が出されることを特徴とする請求項(1)記載の燃焼状態診断方法。

(4) 前記ファジー推論用の知識ベースに対する排ガスサンプリング結果の知識の重複性を判定することによって、試運転で排ガスサンプリングを再採集するか否かを判定することにおいて、前記重複性の判定を画像表示手段に表示し、重複性を有するという判定の場合には試運転で排ガスサンプリングを再採集することを指示することを特徴とする請求項(1)記載の燃焼状態診断方法。

(5) 前記ファジー推論用の知識ベースに対する排ガスサンプリング結果を複数個の有限次元ベクトルで表現し、それらの1次独立を計算する方法に

おいて、複数個の有限次元ベクトルの組みを行列と考え、この行列の階数を計算することによって1次独立性を判定し、この階数と前記多次元ベクトルの次元数との比を計算することによって知識ベースの完全性の度合いを判定することを特徴とする請求項(1)記載の燃焼状態診断方法。

3. 発明の詳細な説明

【産業上の利用分野】

本発明は、ボイラ等の燃焼状態の診断方法に係り、特に試運転で得られた知識の重複性及び完全性を判定し、試運転の再実施の要否を判断するのに好適な燃焼状態の診断方法に関するものである。【従来の技術】

従来、大容量ボイラの運転に当たっては、高信頼性及び高効率運転が強く求められており、これに対応した対策が要望されている。この為には各バーナの燃焼状態を個々に推定する方法が必要であり、排ガス流路が層状とならないボイラーに対しては熟練した運転者の知識に相当したものを利用する必要がある。

そこで、排ガスの性状とバーナの燃焼状態との因果関係を試運転等により採集し、熟練した運転者の知識に相当する知識ベースとして利用することが提案されている(特開昭62-87725号公報等)。

【発明が解決しようとする課題】

この場合、排ガスの性状とバーナの燃焼状態との因果関係を試運転により採集し、熟練した運転者の知識に相当する知識ベースとして利用する場合、この知識ベースが妥当なものか否かを判定する基準が、その知識が有効利用されるか否かに大きく影響てくる。しかし、従来のものは、この点の配慮がされておらず、試運転により採集した知識が有効利用されていなかった。

そこで、本発明の目的は、上記欠点を解決し、高信頼性で高効率運転を可能とする燃焼状態診断方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

本発明は、排ガスの性状を検知分析し、この分析結果を用いて各バーナの状態を推定し、この推

定結果に基づいてバーナの燃焼状態が適正か否かを判断する燃焼状態診断方法において、予め試験運転で得られている排ガスサンプリング結果と各バーナ状態との間の因果関係から構成されるファジー推論用の知識ベースに対し、排ガスサンプリング結果の知識の重複性及び完全性を判定することによって、試運転で排ガスサンプリングを再実施するか否かを判定することを特徴とする燃焼状態診断方法である。

【作用】

試運転において、煙道内断面等の燃焼領域近傍に排ガスを採取するサンプリングプループを設置し、サンプリングプループからの排ガスを分析装置に導き、O₂、CO、NO_x等の排ガス種を分析し、排ガスサンプリング結果とする。同時に、各バーナー等の燃焼状態(磨耗、詰まり、供給O₂量、油量、燃焼圧力と噴霧蒸気圧力との差圧等)を記録する。蒸気排ガスサンプリング結果と各燃焼状態との対応付けをし、知識ペーストする。この知識ベースのうち排ガスサンプリング結果が知

識として重複するか否か、又、完全か否かを判定し、重複がある、又は、完全でないと判定した場合は試運転を再び実施するようにする。

[実施例]

以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

第1図は本発明を適用し得るボイラ装置の概略図、第2図は本発明の実施例における知識ベース妥当性判定器と知識ベースとのインターフェースを示すブロック図、第3図は実施例に係るフローチャート、第4図は実施例に係るデータ処理装置内の処理のフローチャート図である。

第1図において、燃料配管1から供給された燃料は燃料流量制御弁2により流量を制御され、各バーナ3に供給される。風箱4からはダンパ5、燃焼用空気ファン6を経て空気予熱器7により加熱された燃焼用の空気が供給されて燃焼を行ない、火炉8内に火炎9を形成する。火炉8からの高温の燃料ガスは過熱器10、節炭器11を経て煙道12に至り、脱硝装置（図示せず。）などを経て

系外に排出される。この際、排ガスの一部はダンパ13、再循環ファン14を経て火炉8に供給され、低NO_x燃焼が実施される。

このようなボイラー装置において、煙道12の特定の位置に、その位置での煙道断面内の各箇所の排ガスを吸収できるように、サンプリングブループ（図示せず。）を設置する。このサンプリングブループからの排ガスを分析装置に導いて、O₂、CO、NO_x等を自動分析し、一方でこのときの各バーナの状態（廃耗、詰まり、供給O₂量、油量及び燃料圧力と噴霧蒸気圧との差圧等）を定量化し状態量として記録する。

本実施例は、この排ガスサンプリング結果と各バーナ状態量との対応を知識ベースとするに当たり、排ガスサンプリング結果が知識として重複するか否か又完全か否かを判定し、もし重複がある場合若しくは完全でないと判断される場合は、試運転を再び実施する必要があるか否かを判断するものであり、以下の6ステップから構成される。

(1) 試運転におけるサンプリング結果（以下、

試運転サンプリング結果という。）の表現

- (2) 変数(x)の定義域の設定
- (3) 規格直交完全固有関数系の限定
- (4) 試運転サンプリング結果の有限次元ベクトルとしての表現

- (5) 試運転サンプリング結果の独立性判定
- (6) 試運転サンプリング結果の完全性判定

以下、各ステップについて詳述する。

(1) 試運転におけるサンプリング結果（以下、試運転サンプリング結果という。）の表現

試運転の実施回数をL回とする。一般的に、第 α 回目 ($\alpha = 1, 2, 3, \dots, L$) の排ガスサンプリング結果は下式のベクトル関数で表現される。

$$\mu^{(\alpha)}(x) = \begin{pmatrix} \mu_1^{(\alpha)}(x) \\ \vdots \\ \mu_s^{(\alpha)}(x) \end{pmatrix} \quad \cdots (1)$$

ここで、引数xは、サンプリングブループを示

す離散変数である。各 $\mu_i^{(\alpha)}(x)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, s$) は、排ガス種iの分析結果であり、

その値が0以上でかつ1以下 ($0 \leq \mu_i^{(\alpha)}(x) \leq 1$) になるように規格化する。又、その離散点の間は、折れ線近似したメンバーシップ関数にする。尚、sは分散する排ガス種の総数である。

(2) 変数(X)の定義域の設定

サンプリング結果を表現するメンバーシップ関数（式(1)）の引数となる変数xを、その定義域が次の区間で表現されるものに変換する。

$$\Gamma_p = [0, 2\pi] \quad \cdots (2)$$

即ち、変数xの定義域が本来P₁以上でかつP₂以下 ($\Gamma_p = [P_1, P_2]$) であった場合、xを次式で変換する。

$$x \rightarrow \frac{2\pi}{P_2 - P_1} (x - P_1) \quad \cdots (3)$$

(3) 規格直交完全固有関数系の限定

定義域集合 Γ_p の上で定義される任意の関数の展開の基底関数として次の三角関数を採用する。

$$\lambda_0(x) = 1 / 2\pi \quad \cdots (4)$$

$$\lambda_{nc}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cos nx \quad \cdots (5)$$

$$\lambda_{ns}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin nx \quad \cdots (6)$$

$$\text{但し, } n = 1, 2, 3, \dots \quad \cdots (7)$$

次に、この無限この固有関数系から有限個を選びだし、定義域 Γ_p 上の関数を近似的に展開できるようにする。この試運転のオペレーターは正の小さな実数値 Δx ($0 < \Delta x < 2\pi$) を設定し、区間 Γ_p (式(2)) の変数を特定する精度として

採用するものとする。上記式(1)の場合には、離散変数引数の中の最小相対間隔を Δx とすれば良い。即ち、オペレーターは、固有関数を次の($2K+1$)個に限定する。

$$\begin{aligned} \lambda_0(x), \lambda_{1c}(x), \dots, \lambda_{Kc}(x) \\ \lambda_{1s}(x), \dots, \lambda_{Ks}(x) \end{aligned} \quad \cdots (8)$$

ここで、自然数 K は、次式で定義される。

$$K = [2\pi / \Delta x] \quad \cdots (9)$$

但し、ここで、 $[Z]$ は、正の実数値 Z の小数点以下を切り上げた自然数であると定義する。

(4) 試運転サンプリング結果の有限次元ベクトルとしての表現

試運転サンプリング結果は式(1)の $\vec{\mu}_{\frac{i}{L}}^{(\alpha)}(x)$ で表現されるが、その各成分を上記の限定された固有関数系(8)を用いて次のように有次元ベクトル($(2K+1)$ 次元)として表現する。

$$\mu_{\frac{i}{L}}^{(\alpha)}(x) \longleftrightarrow \vec{M}_{\frac{i}{L}}^{(\alpha)} = \begin{pmatrix} M_{10}^{(\alpha)} \\ M_{11c}^{(\alpha)} \\ \vdots \\ M_{1Kc}^{(\alpha)} \\ M_{11s}^{(\alpha)} \\ \vdots \\ M_{1Ks}^{(\alpha)} \end{pmatrix} \quad \cdots (10)$$

ここで、

$$M_{10}^{(\alpha)} = \int_0^{2\pi} dx \mu_{\frac{i}{L}}^{(\alpha)}(x) \lambda_0(x) \quad \cdots (11)$$

$$M_{1nc}^{(\alpha)} = \int_0^{2\pi} dx \mu_{\frac{i}{L}}^{(\alpha)}(x) \lambda_{nc}(x) \quad \cdots (12)$$

$$M_{1ns}^{(\alpha)} = \int_0^{2\pi} dx \mu_{\frac{i}{L}}^{(\alpha)}(x) \lambda_{ns}(x) \quad \cdots (13)$$

であり、これはメジバーシップ関数 $\mu_{\frac{i}{L}}^{(\alpha)}(x)$ の固有関数 $\lambda_0(x)$ 、 $\lambda_{nc}(x)$ 及び $\lambda_{ns}(x)$ ($1 \leq n \leq K$) での展開係数に他ならない。

(5) 試運転サンプリング結果の独立性判定

試運転サンプリング結果は式(10)の($2K+1$)次元ベクトルで表現されたが、試運転は L 回 ($\alpha = 1, 2, \dots, L$) 実施しているので、排ガス種の種類ごとに次の様にしてサンプリング結果の1次元独立性を判定するものとする。即ち、排ガス種 i に対して、式(10)のベクトルから次の($2K+1$)行列の行列を作る。

$$M_i \equiv [\vec{M}^{(1)}, \dots, \vec{M}^{(L)}, \dots, \vec{M}^{(L)}]$$

$$= \begin{bmatrix} M_{10}^{(1)} & \dots & M_{10}^{(L)} & \dots & M_{10}^{(L)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{1Kc}^{(1)} & \dots & M_{1Kc}^{(L)} & \dots & M_{1Kc}^{(L)} \end{bmatrix} \quad \cdots (13)$$

この行列の階数を計算し、それを r_i とする。

即ち。

$$r_i = \text{rank } M_i \quad \dots (14)$$

$$(i = 1, 2, \dots, S)$$

とする。又、この r_i の最小値を L^* とする。即ち、

$$L^* = \min (r_1, r_2, \dots, r_s) \quad \dots (15)$$

とする。

ここで、 $L = L^*$ の場合、どの排ガス種 i に対しても下記の L 個のベクトルは、全て互いに一次独立である。

$$\vec{M}_1^{(1)}, \dots, \vec{M}_1^{(L)} \quad \dots (16)$$

又、 $L^* < L$ の場合には、上記(16)の L 個のベクトルの中から L^* この一次独立ベクトルを選び出し、それを

試運転サンプリング結果は、上記(5)試運転サンプリング結果の独立性判定で示したように、 L^* 個が独立な知識であることが判った。一方、任意の状態は $(2K+1)$ 次元のベクトルと同一視されるので、これを表現するためには $(2K+1)$ この独立な知識が必要とされる。従って、試運転サンプリング結果の完全性の度合いとして下記の比率 R を採用する。

$$R = \frac{L^*}{2K+1} \quad \dots (20)$$

以上のように計算される試運転によるサンプリング結果の重複性及び完全性の判定は、試運転で採取したサンプリング結果から構成される知識ベースが有効に利用できるものであるか否かの判定基準を与えるものである。従って、この方法によって十分信頼に足る知識ベースを構成しておくならば、熟練者と同様に経験に裏付けられた高信頼

とし、対応式(10)により、対応するメンバーシップ関数を

$$\mu_{i_1}^{*(1)}(x), \dots, \mu_{i_1}^{*(L^*)}(x) \quad \dots (18)$$

として計算し、これを第 i 成分とするベクトル値メンバーシップ関数を

$$\vec{\mu}_{i_1}^{*(1)}(x), \dots, \vec{\mu}_{i_1}^{*(L^*)}(x) \quad \dots (19)$$

で定義し、これを新しい知識ベースとして用いるものとする。ここで、式(18)で $\mu_{i_1}^{*(d*)}(x)$ が 1 を越える領域では 1 に、0 を下回る領域では 0 に設定することで関数 $\mu_{i_1}^{*(d*)}(x)$ を定義しておくものとする。

(6) 試運転サンプリング結果の完全性判定

なバーナ（バーナー群）の燃焼管理ひいてはボイラーの運転が可能となる。

本実施例における知識ベース妥当性判定機器の知識ベースのインターフェースを第2図に示す。

試運転で得られた排ガスサンプリング結果 $\vec{y}^{(\alpha)}(x)$ と対応する各バーナーの状態 $\vec{v}^{(\alpha)}(y)$ とは、知識ベース 102 に推論ルール

$$\vec{\mu}^{(\alpha)}(x) \Rightarrow \vec{v}^{(\alpha)}(y) \quad \dots (21)$$

の形で収納されている。ここで、 $\vec{v}^{(\alpha)}(y)$ は第 α 回目の試運転におけるバーナー状態を表現するメンバーシップ関数を成分とするベクトル値関数である。試運転が終了し推論ルールの集大成として知識ベースが妥当か否かを判定するために、変数特定の精度を規定する正值 Δx ($0 < \Delta x < 2\pi$) を正值基準信号入力部 101 に入力する。この正值信号を用い知識ベース妥当性判定部 104 にて知識ベースの妥当性が判定され、妥当か否かが知識ベース妥当性表示部 103 に表示される。

妥当であると表示される場合には、この知識ベースを用いて排ガスサンプリングブ105で得られるサンプリング結果から推論ルール(21)を用いて各バーナー状態が演繹され結果がバーナー状態表示部106に表示される。一方、妥当でないと判定される場合には、試運転を再度実施する。

本発明の具体的機能内容を第3図にフローチャートで示す。

試運転で得られた排ガスサンプリング結果(ステップ1)は、試運転回数ごとに $\bar{\mu}^{(k)}(x)$ の各成分がCRT表示される(ステップ2)。一方、固有関数系の限定を行なうに必要な正の微小量 Δx がオペレータにより入力設定され(ステップ3)、固有関数は式(8)の $(2K+1)$ の

$$\begin{aligned} & (\lambda_0(x), \lambda_{1c}(x), \dots, \lambda_{Kc}(x) \\ & \quad : \lambda_{1s}(x), \dots, \lambda_{Ks}(x)) \quad \dots(21) \end{aligned}$$

に限定される(K は式(9)により決定される。)(ステップ4)。この様な限定された固有関数によって、サンプリング結果 $\bar{\mu}^{(k)}(x)$ は各排ガス種の成分 $\bar{\mu}^{(k)}(x)$ 毎に有限次元 $((2K+1)$

次元)ベクトル $\vec{M}_{\alpha=1}^{(k)}$ として表現され、各排ガス種の成分毎に行列 $M_{\alpha=1}^{(k)}$ の階数 r_i 及びその最小値 L^* $(L^* = \min(r_1, r_2, \dots, r_n))$ が計算され、表示される(ステップ5)。このサンプリング結果 $\bar{\mu}^{(k)}(x)$ (知識ベース)の完全性の度合いが次の量Rで計算され、表示される(ステップ6)。

$$R = \frac{L^*}{2K+1} \quad \dots(20)$$

最小の階数値 L^* が試運転回数Lに等しい場合(ステップ7のYES)には、「完全度の大きさとしてRでよいか?」の質問が表示される。ここで、「YES」と答えると(ステップ8のYES)、サンプリング結果 $(\bar{\mu}^{(k)}(x))_{\alpha=1}^{L^*}$ が外部記憶装置(図示せず。)に貯えられる。反対に、「NO」と答えると(ステップ8のNO)、試運転の再実施の指示が表示される(ステップ9)。最小の階数値 L^* が試運転回数Lより小さい場合には、「独立な知識ベースとしてL*個で十分

か?」の質問が表示される。ここで、「YES」と答えると(ステップ10のYES)、サンプリング結果 $(\bar{\mu}^{(k)}(x))_{\alpha=1}^{L^*}$ の中から独立な L^* 個 $(\bar{\mu}^{(k)}(x))_{\alpha=1}^{L^*}$ が構成され(ステップ11)、外部記憶装置(ステップ12)に貯えられる。反対に、「NO」と答えると、試運転の再実施の指示が表示される(ステップ13)。

通常のボイラの場合、サンプリングプログの個数は20、排ガス種の数はS=10であり、又試運転回数はL=10程度である。この場合、排ガスサンプリング結果(式(1))の引数xは離散変数であるから、変数指定の精度は $\Delta x \approx 2\pi/20$ となり、最高次数はK≈20、従って、有次元ベクトルの次元は $2K+1 \approx 45$ 程度となる。即ち、排ガス種の各成分i($i=1, 2, \dots, 10$)に対して式(13)の行列は45行10列となり、成分個数450個であり、この10行10列以下の小行列式を計算することにより行列の回数を計算する。

第4図は、データ処理装置におけるデータ処理

の状態を示す。排ガス性状データはマルチチャンネルのスキャナ15により各測定点毎のデータとしてデータレコーダ16に収録された後、A/Dコンバータ17によりデジタル化される。固有関数系 $(\lambda_0(x), \lambda_{1c}(x), \lambda_{1s}(x))_{n=1}^{\infty}$ については、予想される程度の次数まで外部記憶媒体18に入力しておき、デジタル化されたデータ及びオペレータが入力設定する正値 Δx のデータから演算装置19において、サンプリング結果の有次元ベクトル表現、回数 r_i 、その最小値 L^* 、完全度の度合いRの計算及び L^* がより小さい場合では独立な知識 $(\bar{\mu}^{(k)}(x))_{\alpha=1}^{L^*}$ の構成が行なわれ、その計算結果はCRT20やプロッタ21に出力表示される。

[発明の効果]

以上説明したように本発明によれば、試運転によって採取した知識ベースの妥当性の判定基準が与えられるので、判定基準を充たすような試運転を行なうことにより信頼性、有効性の高い知識ベースを構成でき、運転の信頼性が向上する。又、

最適運転、高効率運転が容易と成り、運転コストの低減が可能となる。また、試運転による知識ベースの妥当性を確認・判定する理論的方法が与えられる。

4. 図面の簡単な説明

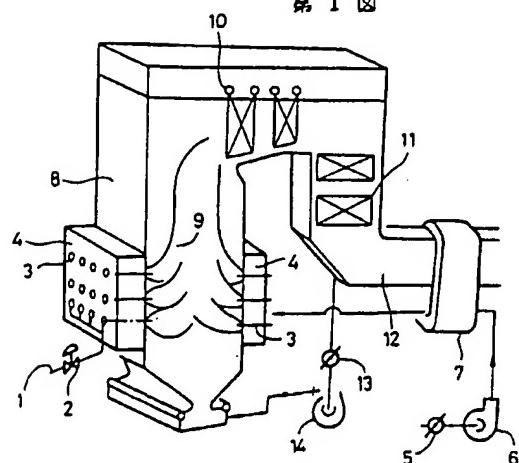
第1図は本発明を適用し得るボイラ装置の概略図、第2図は本発明の実施例における知識ベース妥当性判定器と知識ベースとのインターフェースを示すブロック図、第3図は実施例に係るフローチャート、第4図は実施例に係るデータ処理装置内の処理のフローチャートである。

34, 35, 36…記憶手段、38…本体制御手段、33…トナー供給手段内制御手段。

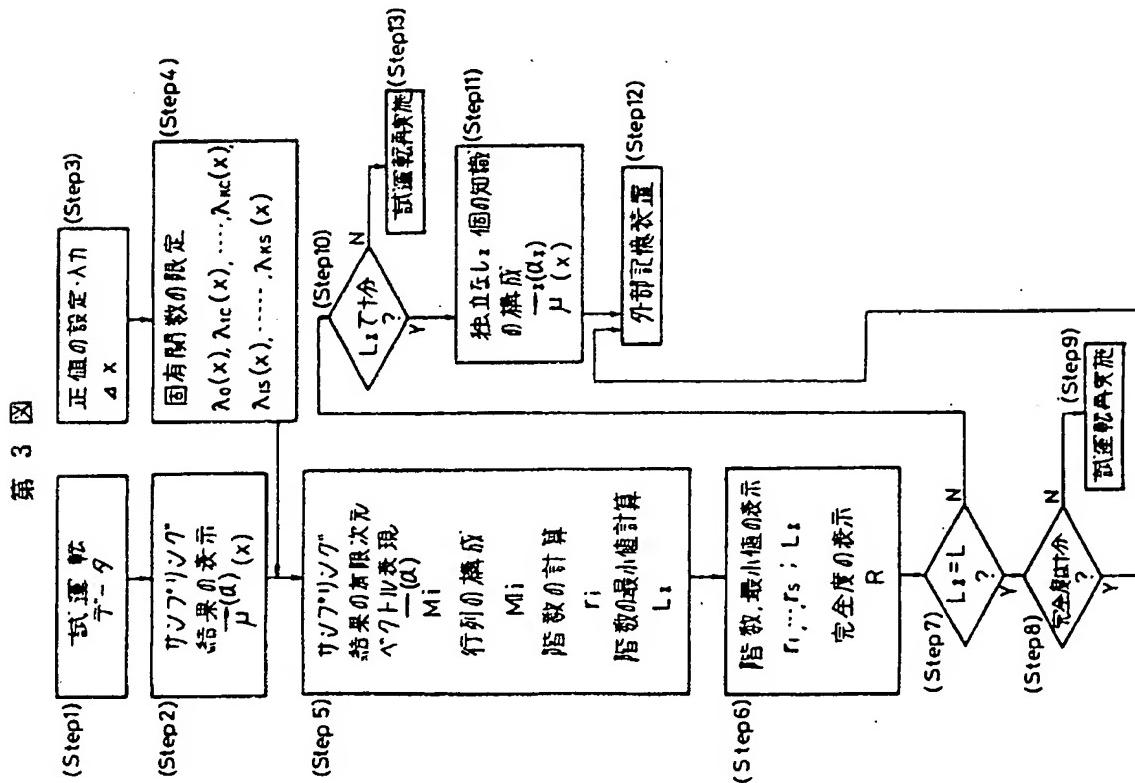
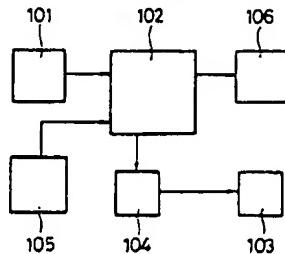
代理人 弁理士 武 順次郎



第1図



第2図



PAT-NO: JP403194314A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 03194314 A

TITLE: COMBUSTION CONDITION DIAGNOSIS METHOD

PUBN-DATE: August 26, 1991

INVENTOR-INFORMATION:

NAME
ITAMI, TETSUO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
BABCOCK HITACHI KK	N/A

APPL-NO: JP01332828

APPL-DATE: December 25, 1989

INT-CL (IPC): F23N005/00, G01N001/22

US-CL-CURRENT: 431/13

ABSTRACT:

PURPOSE: To improve reliability and operation efficiency by forming a fuzzy inference knowledge base from a causal relation between a sampling result of waste gas obtained from a test run of a boiler or the like and an operating state of each boiler, hence deciding the overlapping and perfect qualities of thus obtained waste gas sampling result.

CONSTITUTION: An attempt is made to sample waste gas at a specified position of a boiler's flue, analyze O₂, CO, and NO_x automatically, using an analyzer, quantity the state of each burner at that time, and determine the amount of the quantitative state. These results are stored in a fuzzy

inference knowledge base 102. Then, the validity decision of the knowledge base is displayed on a validity decision making section 104 by the input of an accuracy regulation proper value from a proper value reference signal input section 101 so as to see if it is proper or not. When the indication is proper, the knowledge base decides the result of an actual waste gas sampling section 105 and the operating state of the burner is displayed on an indicator 106. This construction makes it possible to enhance the reliability of a diagnosis system.

COPYRIGHT: (C)1991,JPO&Japio